

# MgO 对烧结矿质量的影响及 MgO 与 $B_2O_3$ 的交互作用<sup>\*</sup>

郎建峰,李振国,张玉柱

(河北理工学院,河北 唐山 063009)

**摘要:**研究了 MgO 与烧结矿常温强度及冶金性能的关系,以及含硼及含镁物质同时加入烧结混合料时的交互作用。结果表明,MgO 对烧结矿常温强度的影响随碱度的不同而不同。MgO 的加入使烧结矿软熔性能、抗低温还原粉化性能改善,还原性变差。在烧结混合料中同时加入含硼及含镁物质时,MgO 与  $B_2O_3$  具有明显的交互作用规律,MgO 与  $B_2O_3$  相互弥补了各自对烧结矿质量的不利影响。

**关键词:**烧结矿;添加剂;MgO; $B_2O_3$ ;交互作用

**中图分类号:**TD927.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-6532(2000)01-0022-04

## 1 前 言

高炉冶炼实践证明,炉渣中含有 6%—14% 的 MgO 可使炉渣具有良好的流动性及脱硫性能。最初向高炉中引入 MgO 的办法是加入白云石,现在普遍的做法是生产含 MgO 烧结矿。因为这样可节省在高炉冶炼时分解白云石所消耗的焦炭。对于 MgO 对烧结矿质量的影响,国内外虽有研究<sup>[1-4]</sup>,但所得出的结论并不一致。例如 MgO 对烧结矿常温强度的影响,有的认为<sup>[1-2]</sup>MgO 含量增加,常温强度提高;有的认为<sup>[3]</sup>在高碱度时,MgO 含量增加,常温强度降低;还有的认为<sup>[4]</sup>MgO 对常温强度的影响与 MgO/CaO 有关,在  $MgO/CaO < 0.6$  时,强度随 MgO 含量的增加而下降,当  $MgO/CaO > 0.6$  时,强度随 MgO 含量增加而升高。本文作者认为:文献中得出不一致的结论,一方面是由于不同的研究者采用的烧结原料及工艺条件控

制不同,另一方面说明 MgO 对烧结矿的质量有正负两方面的影响。为此,本文系统地研究了采用冀东磁铁矿粉为原料生产不同碱度烧结矿时加入 MgO 对质量的影响,还研究了加入 MgO 的同时加入  $B_2O_3$  的作用,发现 MgO 与  $B_2O_3$  有交互作用规律。

## 2 实 验

实验在直径为 200mm 的烧结杯中进行,料层高度 400mm,负压 8.0kPa,分别控制碱度为 1.0、1.4 和 1.8,配碳 4.0%。碱度及 MgO 含量通过调整配加石灰石、石灰及白云石的量控制。按国标规定的方法测定烧结矿强度及冶金性能,常温强度用转鼓指数表示。采用光学显微镜测定烧结矿矿相组成,并用电子能谱测定提供补充信息。

## 3 实验结果及讨论

### 3.1 MgO 含量对烧结矿常温强度的影响

在二元碱度分别为 1.0、1.4 及 1.8 时,烧结矿常温强度与 MgO 添加量的关系示于表 1 中。

<sup>\*</sup> 河北省自然科学基金资助项目

表 1 烧结矿常温强度与 MgO 含量的关系

| MgO 含量(%)<br>碱度(TI) | 0.1  | 1.0  | 2.0  | 3.0  | 4.0  | 5.0  | 6.0  | 7.0  | 8.0  |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.0                 | 51.2 | 52.4 | 53.8 | 55.6 | 54.9 | 56.9 | 53.8 | 51.3 | 45.2 |
| 1.4                 | 41.2 | 44.7 | 47.8 | 49.6 | 52.4 | 53.1 | 54.5 | 54.2 | 52.9 |
| 1.8                 | 69.4 | 65.2 | 63.3 | 63.2 | 61.3 | 58.4 | 61.2 | 62.8 | 63.1 |

由表 1 数据可知,在碱度 1.0 时,MgO 含量小于 5%,强度随 MgO 含量的增加而升高,MgO 含量大于 5%后,强度随 MgO 含量的增加而降低。在碱度 1.4 时,强度随 MgO 含量的增加而升高,直到 MgO 含量达到 6.0%以后,MgO 的作用不明显。在碱度 1.8 时,MgO 含量小于 4.0%,强度随 MgO 含量的增加而降低,MgO 含量大于 4.0%时,强度随 MgO 含量的增加而增高。上述不同碱度时烧结矿常温强度与 MgO 含量的关系,可通过 MgO 对烧结矿相结构的影响进行讨论。

在碱度为 1.0 时,玻璃相为主要粘结相,铁酸钙基本上不生成。根据玻璃结构的网络学说<sup>[5]</sup>,SiO<sub>2</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等为网络形成体,Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、CaO 等为网络修改体,MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等为网络中间体。MgO 进入硅酸盐玻璃熔体中,在含量较小的范围内,MgO 起网络形成体作用;有益于玻璃体的形成或增加玻璃体的强度。当 MgO 含量超过一定限度时,MgO 起修改体作用,不利于玻璃体的形成或降低玻璃体的强度。所以烧结矿碱度为 1.0 时,出现强度先是随 MgO 含量的增加而升高,而后再随 MgO 含量增加而降低的变化规律。

碱度为 1.4 时,烧结矿为铁酸钙及玻璃相共同粘结。根据 C. E. Loo 等人<sup>[6]</sup>的研究结果,铁酸钙的强度大于玻璃质。碱度为 1.4 的烧结矿由于铁酸钙的生成似乎应比碱度 1.0 的烧结矿具有更高的强度。实验结果恰恰与此相反,1.4 碱度时强度比 1.0 碱度时普遍偏低。这是因为在该碱度时,生成了一定量铁酸钙的同时,还生成了大量的正硅酸钙(C<sub>2</sub>S)。由于在 525℃时正硅酸钙发生由 β-  
万万数据

C<sub>2</sub>S 向 γ-C<sub>2</sub>S 的晶型转变,转变过程中体积增大大约 9%。使得烧结矿在冷却过程中产生的反应力更大,严重时甚至会造成烧结矿粉化。由铁酸钙生成使烧结矿强度提高的有益作用未能抵消正硅酸钙生成的有害作用,所以 1.4 碱度烧结矿的强度低于 1.0 碱度烧结矿。在该碱度时,加入 MgO,由于 MgO 能部分固溶于 β-C<sub>2</sub>S 的晶格中<sup>[7]</sup>,在一定程度上抑制了 β-C<sub>2</sub>S 到 γ-C<sub>2</sub>S 的转变,因此,1.4 碱度时,强度随 MgO 加入量的增加而升高。

碱度为 1.8 时,铁酸钙为主要粘结相,玻璃较少,因此,烧结矿强度普遍较高。在该碱度时,加入 MgO,由于 Mg<sup>2+</sup> 离子进入磁铁矿晶格,形成了镁尖晶石 [(Fe, Mg)O · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>],稳定了磁铁矿晶格,使得由磁铁矿氧化为赤铁矿的反应受阻<sup>[8]</sup>。笔者在另一项研究中证实<sup>[9]</sup>:在磁铁矿烧结过程中,铁酸钙形成于冷却带。只有当磁铁矿在热风的作用下氧化为赤铁矿时,才能进一步与 CaO 反应形成铁酸钙。因此,在烧结混合料中加入 MgO 后,会降低铁酸钙的生成量,而增加玻璃质的量,其强度必然降低。MgO 含量大于 5.0%以后,其强度随 MgO 含量的增加而升高,是由于 MgO 含量升高后又出现新的矿物,如:钙镁橄榄石(CaO · MgO · SiO<sub>2</sub>)、镁蔷薇辉石(3CaO · MgO · 2SiO<sub>2</sub>)、镁黄长石(2CaO · MgO · SiO<sub>2</sub>)、镁铁黄长石[2CaO · (MgFe)O · 2SiO<sub>2</sub>]等。尽管在高碱度时,MgO 含量在 0.1%—5.0%范围内烧结矿常温强度随 MgO 含量的增加而降低,但其强度值仍普遍高于低碱度烧结矿。这说明对于碱度及 MgO 含量这两种影响强度的因素中,碱度的作用更大。因此,在实际生产中应

尽量采用高碱度烧结。

3.2 MgO 含量对烧结矿冶金性能的影响

对于 1.8 碱度烧结矿,测定 MgO 含量

为 3.5%及不加 MgO 时烧结矿的冶金性能,其对比结果示于表 2 中。

由表 2 的结果可知,添加 MgO 后,烧结

表 2 加 MgO 及不加 MgO 烧结矿冶金性能对比

| 项 目     | 化 学 成 分(%) |       |       |                                |      |                  |       | 转鼓(%)<br>(+6.3mm) | 低温还原<br>粉化率(%)<br>(-3.15mm) | 还原率<br>(%) | 开始软<br>化温度<br>(℃) |
|---------|------------|-------|-------|--------------------------------|------|------------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|-------------------|
|         | TFe        | FeO   | CaO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | SiO <sub>2</sub> | S     |                   |                             |            |                   |
| 不加 MgO  | 56.66      | 12.45 | 10.70 | 1.22                           | 0.10 | 5.97             | 0.013 | 60.2              | 20.64                       | 80.20      | 1173              |
| 3.5%MgO | 56.86      | 14.70 | 10.15 | 1.17                           | 3.47 | 5.70             | 0.011 | 53.20             | 15.53                       | 73.21      | 1215              |

矿高温软化性能、抗低温还原粉化性能改善,但还原性变差。MgO 改善烧结矿软化性能的机理,Ichiro Shigaki 等<sup>[10]</sup>作过系统研究,这里不再赘述。赤铁矿在 525℃至 625℃温度区间内还原成磁铁矿时,体积约增大 25%,这将在已还原区域的周围形成应力,倘若周围的其他区域能够承受该应力的话,物料不会发生粉化。但是,一般来说,该应力相当大,致使物料产生裂纹以释放应力。开裂的严重程度取决于应力的大小,而应力的大小又很可

能与还原度和周围物质的性质有关<sup>[6]</sup>。前已述及,MgO 的加入减少了再生赤铁矿的产生,且有增强玻璃质强度的可能性,就必然会使低温还原粉化率降低。正由于上述原因,也必然造成加 MgO 烧结矿的还原性变差。

3.3 MgO 与 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的交互作用

在烧结混合料中加入白云石的同时加入硼酸,使烧结矿中 B 的含量和 MgO 含量分别达到 0.006%和 3.5%。其常温强度及冶金性能测定结果示于表 3 中。

表 3 含 MgO 及 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 烧结矿的冶金性能

| 化 学 成 分(%) |       |       |                                |      |                  |       | 转鼓(%)<br>(+6.3mm) | 低温还原<br>粉化率(%)<br>(-3.15mm) | 还原率<br>(%) | 开始软<br>化温度<br>(℃) |
|------------|-------|-------|--------------------------------|------|------------------|-------|-------------------|-----------------------------|------------|-------------------|
| TFe        | FeO   | CaO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  | SiO <sub>2</sub> | S     |                   |                             |            |                   |
| 57.04      | 11.40 | 10.10 | 1.10                           | 3.55 | 5.58             | 0.014 | 63.8              | 14.16                       | 81.2       | 1213              |

对比表 2 与表 3 数据可知,在加入 MgO 的同时加入 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与单加入 MgO 相比,常温强度、抗低温还原粉化性能及还原率都进一步得到改善,软化性能基本保持不变。这说明 MgO 与 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 具有明显的交互作用。加入 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 抵消了单独加入 MgO 时对常温强度的不利影响,这是由于 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的加入抑制了 C<sub>2</sub>S 的生成和促进了铁酸钙的生成。单独加入 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 时,会使开始软化温度降低,而同时加入 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 MgO 时开始软化温度与单独加 MgO 时一致,高于不加添加剂时的软化温度。这是因为 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的加入只改变烧结过程中液相的流动性,并不改变 MgO 的成矿特性。单独加入 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 MgO 时都具有降低低温还原粉化率的作用,而同时加入的叠加作用,必然会使低温还原粉化进一步降低。赤铁矿

与磁铁矿及铁酸钙相比均易于还原,单独加入 MgO 有抑制铁酸钙及赤铁矿生成的作用,所以同时加入时使还原率比单独加入 MgO 时提高。

4 结 论

1. MgO 对烧结矿常温强度的影响随烧结矿二元碱度的不同而不同。在碱度为 1.0 时,MgO 含量在 0.1%—5.0%范围内,强度随 MgO 添加量的增加而升高,超过 5.0%后,强度随MgO含量升高而降低。在碱度 1.4 时,强度随 MgO 含量的增加而升高,到 MgO 含量大于 6.0%以后,MgO 的作用不明显。在碱度 1.8 时,MgO 含量在 0.1%—4.0%范围内,强度随 MgO 含量的增加而降低,到 MgO 含量大于 4.0%以后,强度随

MgO 含量的增加而升高。

2. 在碱度 1.8 时,加入 MgO 使烧结矿软化性能、抗低温还原粉化性能改善,但还原性能变差。

3. 在烧结混合料中同时加入含硼及含镁物质,B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 MgO 具有明显的交互作用,B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 MgO 相互弥补了各自对烧结矿冶金性能的不利影响。同时加入 MgO 及 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比单独加入其中任何一种时,对改善烧结矿质量都更为有效。

[参 考 文 献]

1 张家驹,等.高碱度高氧化镁烧结矿的研究[J].烧结球团,1992(2):29

2 王叔.邢钢烧结矿 MgO 含量的选择[J].烧结球团,1996(2):29

3 谭金琨,等.碱度、MgO 含量和白云石粒度对烧结矿常温强度的影响[J].烧结球团,1990(2):19

4 S. C. Panigraphy et al. Effect of MgO addition on strength characteristics of iron ore sinter. Iron-

making and Steelmaking,1984,11(1):17

5 W. 福格尔著,谢于深译.玻璃化学[M].北京:轻工业出版社,1988

6 C. E. Loo et al. Mechanical properties of natural and synthetic mineral phases in sinters having varying reduction degradation indices. Ironmaking and Steelmaking,1988,15(6):279

7 北京钢铁学院,等.迁安铁矿磁选精粉的烧结矿粉化原因分析和防止措施[J].金属学报,1975,11(1):25

8 S. C. Panigraphy et al. Influence of MgO addition on mineralogy of iron ore sinter. Metallurgical Tansactions B,1984,15B(3):23

9 郎建峰,等.含硼添加剂对磁铁矿烧结过程中正硅酸钙形成的影响[J].矿产综合利用,1999(6):12—15

10 Ichiro Shigaki et al. ,Melting property of MgO containing sinter. Tansactionns ISIJ, 1981, 21: 862

Effect of MgO on Sinter Quality and Interaction of MgO and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

LANG Jian-feng, LI Zhen-guo, ZHANG Yu-zhu  
(Hebei Institute of Technology, Tangshan, Hebei, China)

**Abstract:** The relations among MgO with cold strength and metallurgical properties of sinter, and interaction of magnesium-containing and boron-containing additives during simultaneously addition in sinter mix are described in this paper. The results show that effect of MgO on cold strength is varied with difference of basicity. Because addition of MgO, melting property and anti-pulverization in low-temperature reduction were improved but reducibility was reduced. The interaction of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MgO was appeared when boron-and magnesium-containing additives are added into sinter mix. The negative effect of B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MgO on sinter quality can be overcome by their counterbalancing each other.

**Key words:** Sinter; Additive; MgO; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Interaction